Отсюда получаем, что теплоемкость при постоянном давлении постоянна и для одного моля газа равна

$$C_p = C_V + R = \frac{5}{2}R .$$

Напомним также определение КПД тепловой машины, работающей по замкнутому циклу, в результаты которого внутренняя энергия газа (рабочего тела) не изменяется. По закону сохранения энергии, работа газа в замкнутом цикле A равна разности количества теплоты Q_1, подведенного к газу, и количества теплоты Q_2, отведенного от него. КПД цикла называется отношение

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{A}{Q_1} .$$

Еще раз подчеркнем, что для нахождения правильного значения КПД необходимо подсчитать тепло, подведенное *на всех участках* процессов, составляющих цикл. Так например, в изохорических процессах работа газом не производится, однако тепло подводится или отводится. В задачах могут также встречаться внешне простые участки зависимости $p(V)$, в ходе которых тепло как отводится, так и подводится. Если для такого участка найти «итоговое» подведенное или отведенное тепло, то при подсчете КПД может возникнуть ошибка. Отметим, наконец, что только для цикла Карно, состоящего из двух изотерм с температурами нагревателя T_1 и холодильника T_2, на которых, соответственно, подводится количество теплоты Q_1 и отводится Q_2, и двух адиабат, КПД может быть записан в виде

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} .$$

Разберем теперь некоторые конкретные задачи на тепловые процессы с участием одноатомного идеального газа.

Задача 1. *Сравните работы, количества теплоты и теплоемкости 1 моля идеального газа при переходе между двумя изотермами с температурами T_1 и T_2 в изобарическом процессе 1 и в процессе 2 с прямой пропорциональной зависимостью давления от объема (рис.1).*

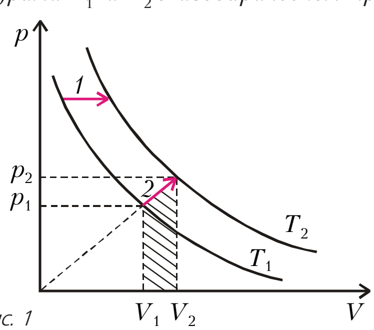

Рис. 1

Для изобары *1* мы имеем:

$$A_1 = R(T_2 - T_1) ,$$

$$\Delta U_1 = \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) ,$$

$$Q_1 = \Delta U_1 + A = \frac{5}{2}R(T_2 - T_1) .$$

Для процесса *2* (на диаграмме p–V прямая проходит через начало координат) работа равна площади заштрихованной трапеции:

$$A = \frac{p_1 + p_2}{2}(V_2 - V_1) = \\ = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{2} = \frac{R}{2}(T_2 - T_1) .$$

Изменение внутренней энергии в этом процессе такое же, как в предыдущем:

$$\Delta U_2 = \Delta U_1 = \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) ,$$

а количество теплоты, подведенное на участке *2*, равно

$$Q_2 = A_2 + \Delta U_2 = 2R(T_2 - T_1) .$$

Как видно, в обоих процессах работа и подведенное количество теплоты определяются лишь разностью температур конечного и начального состояний газа. Следовательно, теплоемкости в процессах остаются постоянными и равными, соответственно,

$$C_1 = \frac{5}{2}R , \quad C_2 = 2R .$$

При этом, независимо от начального давления для изобары и от наклона прямой в переходе с прямой пропорциональной зависимостью давления от объема, работы перехода между двумя изотермами отличаются в 2 раза, а теплоемкости – в $5/4$ раза.

Задача 2. *Сравните работы и количества теплоты, подведенные к 1 молю газа, в процессе 1 изотермического расширения газа от объема V_1 до V_2 и в процессе 2 перехода между этими состояниями с линейной зависимостью давления от объема (рис.2).*

Для процесса *1* имеем:

$$A_1 = RT \ln\frac{V_2}{V_1} ,$$

$$Q_1 = A_1 .$$

Для процесса *2* работа равна площади соответствующей трапеции:

$$A_2 = \frac{p_1 + p_2}{2}(V_2 - V_1) ,$$

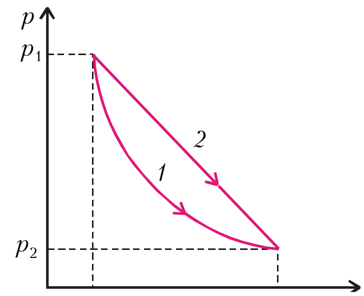

Рис. 2

или, если ввести обозначение $V_2/V_1 = \alpha$ и воспользоваться уравнением изотермы $p_1V_1 = p_2V_2 = RT$,

$$A_2 = \frac{p_1V_2 - p_2V_1}{2} = RT\frac{\alpha^2 - 1}{2\alpha} .$$

Внутренняя энергия в процессе *2*, как и в процессе *1*, не изменилась, поэтому по закону сохранения энергии можно утверждать, что газу было передано количество теплоты

$$Q_2 = A_2 .$$

Итак, для обоих процессов работа определяется отношением конечного и начального объемов.

Отметим, что для процесса *2* теплоемкость не остается постоянной, более того – она меняет знак в ходе процесса от положительного к отрицательному. Это означает, что сначала тепло подводится, а затем отводится.

Задача 3. *Вершины замкнутого цикла, состоящего из четырех участков линейной зависимости давления от объема, лежат на двух изотермах с известными температурами T_1 и T_2 (рис.3). Прямые 1–2 и 3–4 проходят через начало координат, объемы V_2 и V_4 равны. Найдите работу одного моля газа в замкнутом цикле.*

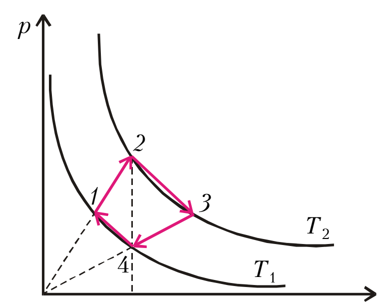

Рис. 3

Работы на участках *1–2* и *3–4* одинаковы по величине (см., например, задачу 1). Поэтому работа в цикле равна

$$A = A_{23} - A_{41} .$$